

# ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE ANFÍBOLES EN MENAS DE TALCO DE LA PROVINCIA DE MENDOZA

Leticia LESCANO <sup>1,2</sup>, Silvina MARFIL <sup>1,2</sup> y Pedro MAIZA <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología-Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. E-mail: leticia.lescano@uns.edu.ar

<sup>2</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

## RESUMEN

Si bien existen antecedentes de estudios realizados en los yacimientos de talco del distrito minero Salamanca en la provincia de Mendoza, en su mayoría están relacionados con la génesis, estructura y emplazamiento geológico. En varios de ellos se menciona la presencia de serpentina y anfíboles, en las rocas de caja y en las menas. Estos últimos fueron determinados por sus características mineralógicas y propiedades ópticas, pero no han sido evaluados desde el punto de vista de su influencia en los pasivos ambientales de las escombreras, considerando principalmente la dispersión en el ambiente exógeno. Durante años la minería de talco en la provincia de Mendoza fue muy importante, realizada principalmente en forma subterránea. El personal estuvo expuesto al polvo generado durante la explotación, constituido por material particulado, parte de él de morfología asbestiforme. El objeto del presente trabajo es estudiar la morfología de los anfíboles del distrito minero Salamanca y la influencia de su degradación por procesos exógenos naturales y/o por los tratamientos en planta. Se evalúa desde el punto de vista del riesgo que representan para la salud humana.

**Palabras clave:** *asbestos, anfíboles, talco, riesgo ambiental, Mendoza*

## ABSTRACT

*Morphological analysis of amphiboles in talc deposits in the Province of Mendoza.*

Even though there are previous studies made in talc deposits from Salamanca mining district in the province of Mendoza, most of them are related with genesis, structure and geological setting. In several of them, the presence of serpentine and amphiboles in country rocks and ores is mentioned. The last ones were determined by their mineralogical characteristics and optical properties but they were not evaluated according to the influence of environmental passives in dumps, taking account mainly the dispersion in the exogenous environment. For many years, talc mining in the province of Mendoza was very important, performed mainly on underground. The miners were exposed to dust generated during the exploitation, constituted by particulate material, some of it, morphologically asbestiform. The object of this work is to study the morphology of amphiboles from Salamanca district and the influence of its degradation due to exogenous natural processes and by plant treatments. The evaluation is made from the point of view of the risk they represent to human health.

**Keywords:** *asbestos, amphiboles, talc, environmental risk, Mendoza*

## INTRODUCCIÓN

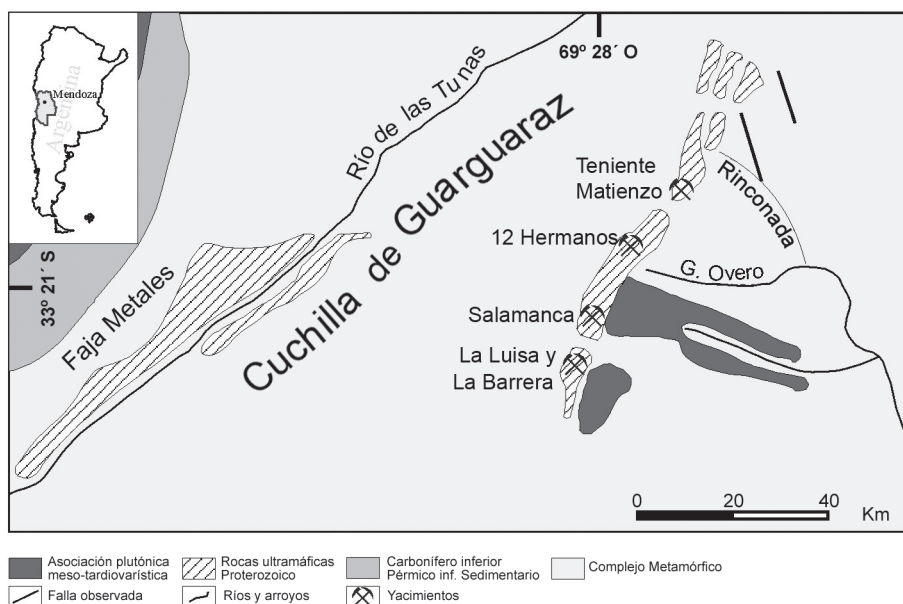
El término asbesto describe a un grupo de silicatos de magnesio hidratados, con características fibrosas y muy flexibles, que presentan propiedades tales como resistencia química, eléctrica y térmica (Veblen y Wylie 1993). Se pueden diferenciar dos grupos distintivos de minerales comúnmente referidos como asbestos: serpentina (crisotilo) y anfíboles (Skinner *et al.* 1988). Actualmente se conocen más de tres mil aplicaciones. Sin embargo, a su gran utilidad hay que añadir su alta peligrosidad para producir enfermedades en forma di-

recta o indirecta, atribuidas, en las últimas décadas, a la exposición al asbesto.

Los anfíboles asbestiformes comúnmente se asocian a rocas volcánicas, plutónicas y metamórficas, principalmente ultrabásicas serpentinizadas. A su vez, en cualquiera de éstas, los anfíboles pueden presentar morfologías no asbestiformes, aunque tanto la deformación mecánica, térmica o la actividad hidrotermal pueden generar minerales con hábitos asbestiformes (Ross 1981).

Los anfíboles cálcicos como la tremolita y actinolita, se encuentran comúnmente en rocas ultramáficas alteradas, cuerpos ser-

pentiníticos, anfíbolitas y esquistos de bajo grado a medio. En la roca de caja de los cuerpos mineralizados, formados a partir de la circulación de fluidos hidrotermales, y en zonas de falla, es frecuente el desarrollo de estos minerales, alcanzando tamaños excepcionales. Además son frecuentes en dolomías (Deer *et al.* 1997) y en rocas esteatizadas, como es el caso de las minas del distrito minero Salamanca. La Organización Mundial de la Salud (OMS/WHO) y la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency - EPA) de EEUU consideran que las fibras de anfíboles asbestiformes son



**Figura 1:** Mapa del distrito minero Salamanca. Alineación NNE-SSO de las minas. Modificado de Bjerg *et al.* (1999).

carcinógenas para las personas y que la exposición durante un período de tiempo, provoca enfermedades pulmonares y mesoteliomas malignos (ATSDR 2001). Si bien Ross *et al.* (1993) concluyeron que no todas las formas de asbestos son cancerígenas o deletéreas para la salud, los anfíboles son los más agresivos al organismo debido a su menor solubilidad en los fluidos corporales y no pueden ser eliminados fácilmente del cuerpo (van Oss *et al.* 1999). En la provincia de Mendoza, los anfíboles están incorporados como impurezas en las menas de talco y constituyen la ganga o materiales de descarte acumulados en los pasivos ambientales del laboreo. El material extraído es transportado hacia plantas de beneficio, para ser purificado y acondicionado para su comercialización. La molienda se realiza en seco, generando importantes volúmenes de polvo, difíciles de retener por filtrado, en cuya composición participan los anfíboles y otros minerales. Este material particulado queda suspendido en la atmósfera y puede ser inhalado por los operarios o personas que residan en cercanías. En este trabajo se expone el estudio mineralógico de los anfíboles relacionado con el potencial riesgo para la salud humana determinado por su morfología y resistencia a los procesos de degradación natural.

## UBICACIÓN Y MARCO GEOLÓGICO

Los yacimientos del distrito minero Salamanca formarían parte de la región noroccidental de la faja máfica y ultramáfica, que se aloja en el complejo metamórfico cuya edad es de 50 Ma (Caminos *et al.* 1979). Existen numerosos autores que han estudiado y realizado observaciones sobre este complejo, entre los que se pueden mencionar: Stappenbeck (1917), Groeber (1939, 1951), González Díaz (1957), Polanski (1958), Caminos *et al.* (1979), Villar (1969, 1975), López *et al.* (2001), entre otros.

El área de mina Salamanca está conformada por un cuerpo ultrabásico serpentizado alojado en forma subconcordante en un ambiente de esquistos, donde las asociaciones dominantes son actinolita-cuarzo-ortosa, tremolita-biotita-plagioclasa, clorita-talco-oligoclasa y muscovita-biotita-granate (Bjerg *et al.* 1990, Gregori *et al.* 1997).

Las minas objeto del presente estudio se ubican en las primeras estribaciones de la Cordillera Frontal, es y constituyen uno de los centros más importantes de extracción de talco. En la figura 1, se muestra la lineación NNE-SSO de algunas de las minas principales. En este trabajo se ana-

lizaron materiales de Salamanca, Doce Hermanos y Teniente Matienzo. Están localizadas a 35 km al oeste-sudoeste de la localidad de Tupungato, provincia de Mendoza (Fig. 1). Cubren una extensión areal de aproximadamente 25 km<sup>2</sup>. A 3 km al NE de la mina Salamanca se encuentra la mina Doce Hermanos y 150 m al NE de ésta, Teniente Matienzo. Constituyen la zona central de un área mucho mayor, interrumpida, en sus extremos N y S por fallas regionales.

El distrito minero Salamanca fue explotado en el siglo pasado por sulfuros. En las últimas décadas fue un importante centro de producción de talco explotándose el contacto ultrabásico-cuerpo mineralizado. Estos depósitos constituyen la zona de alteración y se desarrollan a partir de la esteatización de la serpentinita lo que genera masas de talco y otros minerales asociados, con núcleos relicticos de serpentinitas (Bjerg *et al.* 1999).

En las minas Salamanca, Doce Hermanos y Teniente Matienzo el talco es el constituyente mayoritario de las vetas con laboreo minero, con cantidades subordinadas de anfíboles, magnesita, calcita, dolomita, clorita y minerales opacos. Los anfíboles, asociados a las menas, fueron citados por diversos autores. Maiza *et al.* (1982), en un perfil de la mina Salamanca, mencionan que estos minerales presentan dos morfologías diferentes asociadas al talco. Bjerg (1984) determinó que el mineral del grupo de los anfíboles descrito en la mina Salamanca es actinolita.

En la actualidad este yacimiento se encuentra inactivo y el ingreso a las labores subterráneas no es posible ya que se presentan aterradas con peligro de derrumbe. La planta de beneficio que procesaba estos materiales, ubicada en el Gran Mendoza, utilizaba molienda en seco. Paralelamente trituraba y molía arcillas, baritina, carbonatos, yeso y otros minerales. La producción se remitía principalmente a Buenos Aires para diversos usos, especialmente en la fabricación de membranas, carga de pesticidas, masilla, industria del papel, cerámica, en carga de pinturas, farmacoepa, etc.

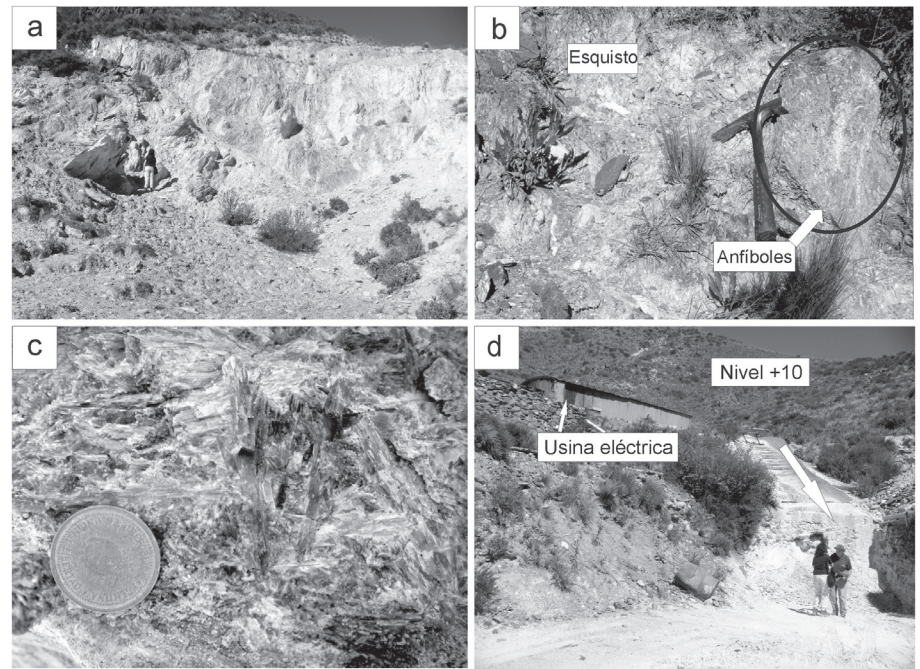
## MATERIALES

Se relevó una de las mayores labores a cielo abierto de la mina Salamanca (Fig. 2a), en el contacto entre la roca de caja y los cuerpos ultrabásicos, sector proclive a la cristalización de los fluidos circulantes, debido a la mayor permeabilidad y variación de las condiciones fisicoquímicas del medio. El muestreo se concentró en dos áreas, considerando las variaciones mineralógicas y texturales, vinculadas principalmente a la cercanía al cuerpo ultrabásico (Fig. 3a). El primer sector se localiza en las proximidades de la roca de caja esquistosa. En éste se desarrolló una faja de anfíboles de color verde oscuro, translúcidos, frágiles y de excelente desarrollo cristalino, claramente diferenciables de la zona de talco y de la roca esquistosa (Fig. 3b). En la figura 2b se observa bolsones de anfíboles dentro del esquistito. La segunda zona, más cercana al cuerpo esteatizado, muestra variaciones en el color de la roca, textura y tamaño de los cristales. El anfíbol es más blanquecino y es notable la disminución de tamaño y el desarrollo del hábito acicular de los cristales (Fig. 2c). Si bien esta zona no está en producción, fue explotada durante décadas y en los alrededores quedaron importantes volúmenes de material de descarte.

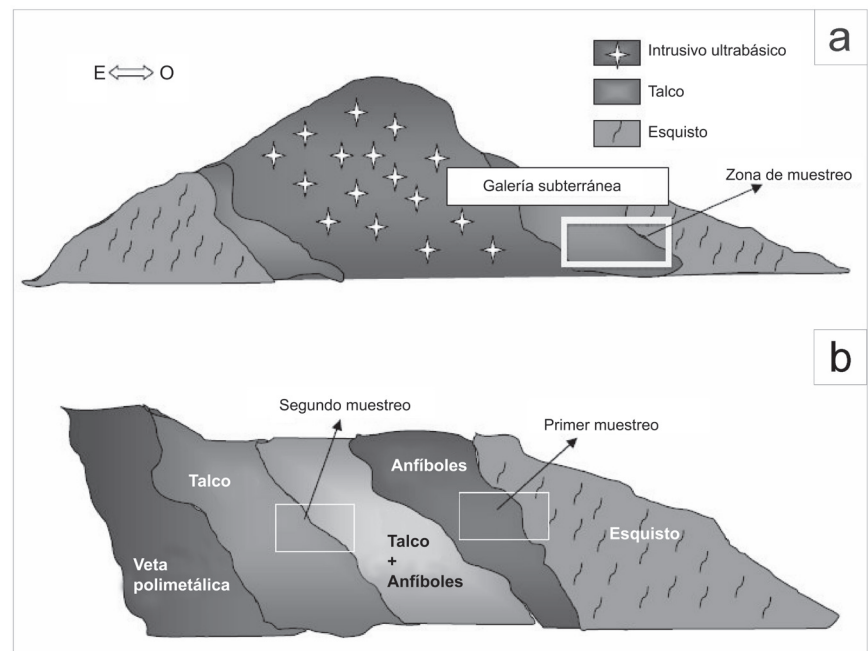
No existen antecedentes de estudios que evaluaran la morfología de los cristales de anfíboles, su área de dispersión ni la evolución de la degradación al estar expuestos al ambiente exógeno.

En la mina Doce Hermanos existen tres labores subterráneas, ubicadas en el nivel +10, en el nivel 0 y la última en el nivel -10. En la actualidad el material del nivel +10 se moviliza por gravedad hacia un sector donde los camiones acceden y recogen el talco para ser transportado. Las muestras utilizadas para este trabajo se tomaron del vertedero y en la playa de carga (Fig. 2d).

Las labores de Teniente Matienzo son subterráneas y están sobre el mismo cuerpo que Doce Hermanos en su prolongación hacia el norte. El muestreo se realizó en un nivel de explotación a cielo abierto, desde la zona de alteración talco-esquistosa



**Figura 2:** a) Salamanca: cantera a cielo abierto, zona de talco + anfíboles. b) Bolsones de anfíboles dentro del esquistito. c) Anfíboles prismáticos en la zona del primer muestreo. d) Doce Hermanos. Zona de vertedero del material, extraído que corresponde al nivel +10.



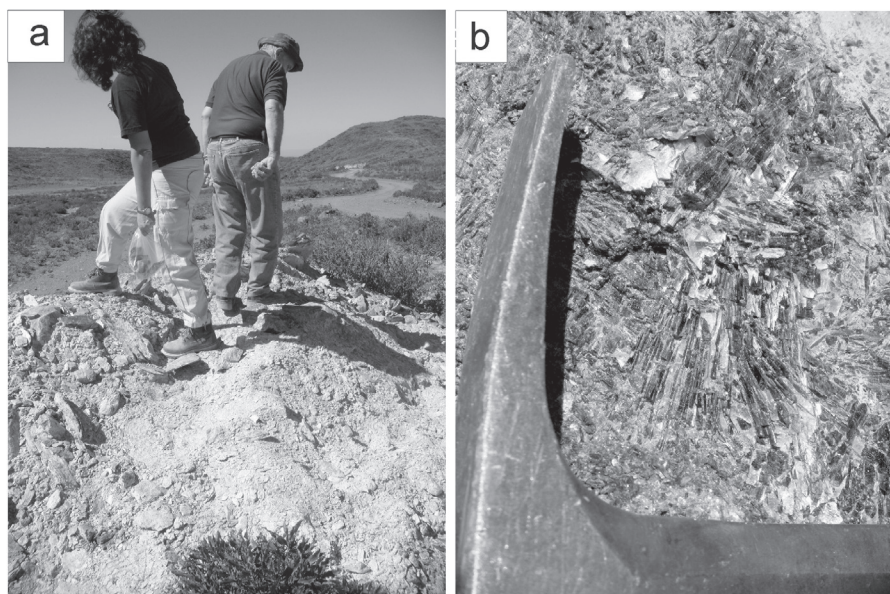
**Figura 3:** a) Perfil de la zona de muestreo de la mina Salamanca. b) Detalle de la zona muestreada indicado en a.

tosa hasta la zona de talco + anfíboles, llegando a la zona en la que se concentran los anfíboles próxima al cuerpo serpentizado.

Además se recolectaron muestras de la playa de acopio, las que se consideraron materiales de mena actuales (Fig. 4a). La

relación entre el talco y los anfíboles en algunos sectores es transicional, están íntimamente mezclados, especialmente cuando los cristales son de menor tamaño. En otros sectores el contacto es neto y claramente diferenciado. En estos últimos los cristales presentan un desarrollo





**Figura 4:** a) Teniente Matienzo. Playa de acopio. b) Prismas de anfíboles de gran desarrollo.

crystalino considerable alcanzando tamaños superiores a los 12 cm de longitud, con hábito prismático, muy frágiles, generalmente exfoliados según el clivaje, dando lugar a formas astillosas y en algunos casos, texturas tipo soles. Es común observar dentro del esquisto talcoso prismas de anfíboles bien desarrollados, disgregables, los que se liberan con extrema facilidad (Fig. 4b). Estas características también se presentan en la zona esteatizada y en los bolsones de material rico, objeto de la explotación, donde los anfíboles participan en cantidades variables. Si bien no hay una evaluación cuantitativa desde el punto de vista ambiental, debe ser objeto de consideración ya que durante la movilización al extraer el material, los anfíboles son liberados, ya sea por el manipuleo, al secarse en el acopio, durante el transporte y aún durante el proceso de purificación. En todas estas etapas, cambian su morfología, reducen su tamaño y son más fácilmente removilizados e incorporados como material particulado al polvo atmosférico.

## MÉTODOS

Se utilizó un sistema microscópico, con procesador de imágenes, integrado con un microscopio petrográfico Olympus trinocular B2-UMA, con una cámara de

video Sony 151A incorporada, procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1 y programas computarizados para tratamiento de imágenes. Para el análisis por rayos X (DRX) se utilizó un difractómetro Rigaku D-Max III-C con radiación de Cu K $\alpha$  y monocromador de grafito, con 35 Kv y 15 mA.

## RESULTADOS

### Microscopía de polarización

En la mina Salamanca, los anfíboles se desarrollan en grandes cristales prismáticos y llegan a constituir más del 95% del material. En secciones basales, desarrolla clivajes con sus ángulos característicos. Es incoloro a verde pálido, levemente pleocroico, con extinción aproximadamente de 14°, biáxico negativo con un ángulo 2V muy grande. Teniendo en cuenta estas características el anfíbol corresponde a la especie actinolita. No presenta evidencias de alteración y se desarrolla principalmente dentro de la masa de talco. La presencia de talco y antigorita en los espacios intercrystalinos de la actinolita, favorece los procesos de desagregación de los cristales, y el clivaje juega un papel predominante en la definición de la morfología final (Fig. 5a).

En los sectores más alejados, próximos a la roca de caja, el material está constituido

por una masa afieltrada de fibras aciculares, de muy bajo pleocroísmo, de aproximadamente 200  $\mu$ m de largo, por lo general definiendo una morfología columnar, aunque no alineada y de carácter masivo. Este mineral de características fibrosas, de baja birrefringencia y extinción casi recta, se determinó como anfíbol de la serie tremolita-actinolita (Fig. 5b). La estrecha relación entre los minerales (anfíbol + clorita + talco) le confiere a la masa rocosa la característica de un material muy deleznable, áspero y de fácil desagregación. En la figura 5c, con nicols cruzados, se observa el hábito tabular fibroso de la actinolita/tremolita, agrupada en forma columnar-radial. En otras áreas se identificó una asociación de actinolita, antigorita y clorita con una textura totalmente desordenada, masiva y compacta, atribuida principalmente a los cambios de volumen que se desarrollaron durante el proceso metasomático. Es común observar cristales aislados aciculares y/o tabulares de anfíboles dentro de la masa de antigorita/clorita y son escasos los minerales opacos y los carbonatos.

Las muestras de la mina Doce Hermanos, están constituidas principalmente por agregados granulares finos de talco, masivo, compacto, de color gris verdoso, con clorita y antigorita subordinadas. La textura general de la roca es esquisto-sa debido a su deformación. Dentro de la masa de talco se reconocen cristales de hábito tabular y acicular de anfíboles de la serie tremolita/actinolita, de extinción levemente oblicua y moderado pleocroísmo. Por sus características ópticas se determinó como actinolita. Son abundantes los carbonatos destacándose grandes cristales de dolomita distribuidos subparalelamente a los de actinolita (Fig. 5d). En secciones delgadas, se determinó que en los minerales de mena de la mina Teniente Matienzo predominan talco y clorita con sectores muy ricos en anfíboles de la serie tremolita-actinolita. La clorita habitualmente se presenta estrechamente vinculada a la antigorita. La actinolita se reconoce por la extinción oblicua, leve pleocroísmo, formas aciculares aisladas, aunque también se presenta en cristales

tabulares y masivos. El tamaño varía entre 150  $\mu\text{m}$  y 600  $\mu\text{m}$  de largo, con una relación largo/ancho promedio de 12. No presentan un arreglo paralelo, sino que se encuentran desordenados y sin orientación preferencial.

En la figura 5e, se muestra los cristales aciculares y fibrosos de actinolita, contenidos en una masa de clorita. Presentan tamaño variable y a veces están curvados. En otros sectores, la clorita se presenta con una textura bandeada contenida en una masa de talco.

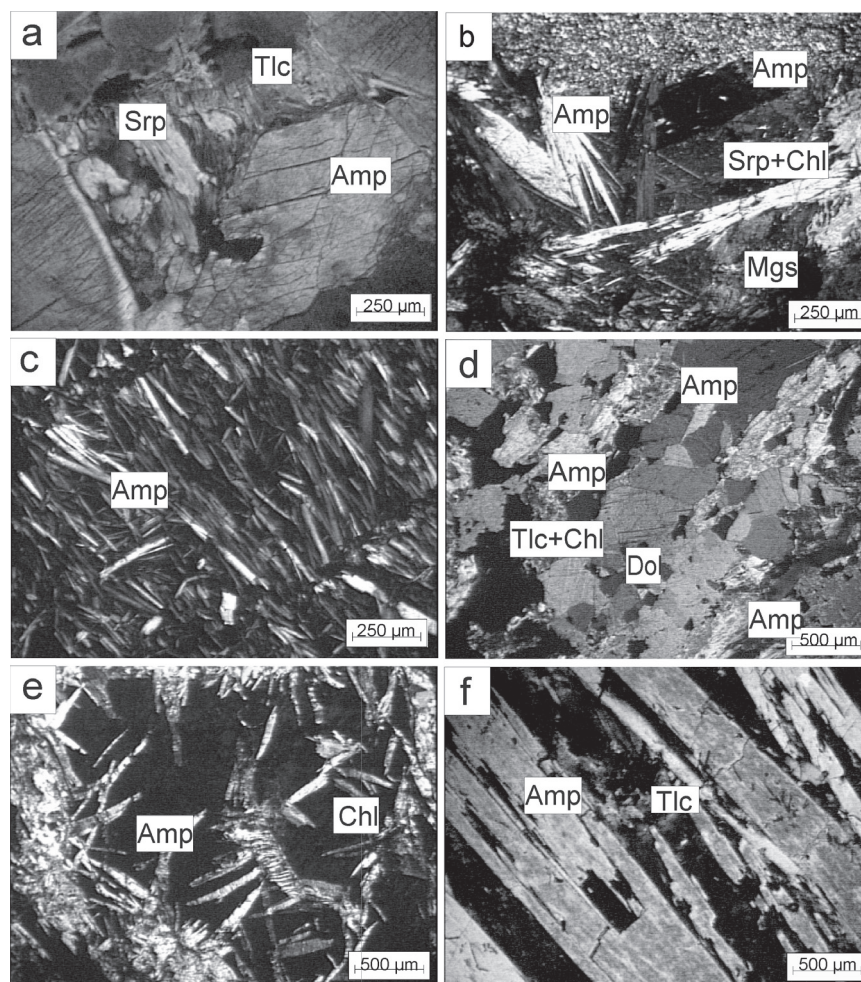
Próximo a la roca de caja, se reconoció una zona con abundantes anfíboles. En secciones delgadas se determinó que estos cristales de hábito acicular corresponden a la serie tremolita-actinolita. Los espacios intercrystalinos están ocupados por masas relicticas de antigorita especialmente en los espacios generados entre los planos de clivaje. En la figura 5f se observa grandes cristales tabulares prismáticos de anfíboles con agregados de talco y antigorita ocupando los espacios intercrystalinos.

### Difractometría de rayos X

En el difractograma de la figura 6a se reconoce las reflexiones de los minerales de la zona cercana a la roca de caja de la mina Salamanca. Se identificaron mayoritariamente minerales del grupo de los anfíboles, de la serie tremolita-actinolita, con sus principales reflexiones en 3,11, 8,3 y 2,7  $\text{\AA}$  comparables con las fichas ICDD 41-1366 y 44-1402 de actinolita y tremolita respectivamente. En cantidades subordinadas, se reconocieron picos de un mineral del grupo de la serpentina, adjudicados a antigorita con sus máximas intensidades en 7,39, 2,52 y 2,45  $\text{\AA}$  comparables con la ficha ICDD 21-963 (ICDD 1993).

En la zona esteatizada (Fig. 6b) se determinó la presencia de minerales de la serie tremolita-actinolita con intensidades en 3,13 y 8,43  $\text{\AA}$  comparable con la ficha ICDD de actinolita antes mencionada. A su vez se reconoce clorita, con sus máximas intensidades en 14,2, 7,08 y 3,54  $\text{\AA}$  adjudicables a clinocloro comparable con la ficha ICDD 16-362. La antigorita aparece en cantidades subordinadas.

En el área de Teniente Matienzo, se ana-



**Figura 5:** a) Secciones basales de actinolita. b) Cristales tabulares a fibrosos aciculares de anfíboles. c) Afilado de anfíboles. d) Dolomita con cristales de anfíboles dispuestos subparalelamente. e) Cristales fibrosos de anfíboles en una masa fina de clorita. f) Anfíboles tabulares con talco y antigorita cristalizados según el clivaje (Srp: serpentinita, Tlc: talco, Amp: anfíbol, Chl: clorita, Dol: dolomita, Mgs: magnetita).

lizó la zona rica en anfíboles y se determinó actinolita. Además se reconocen picos de serpentinita adjudicados a antigorita con sus valores en 7,39 y 2,52  $\text{\AA}$  y talco con sus principales reflexiones en 9,25, 4,70 y 3,11  $\text{\AA}$  semejante a los valores de la ficha ICDD 13-558 de talco-2M. En cantidades menores se identificó clorita con sus principales reflexiones en 14,3 y 7,09  $\text{\AA}$  (Fig. 6c). En el difractograma de la muestra de la zona intermedia, entre los anfíboles y la zona de talco + clorita + serpentinita, se identificaron anfíboles, talco, antigorita y un mineral micáceo adjudicado a flogopita con sus máximos picos en 9,96, 3,34 y 2,61  $\text{\AA}$  comparable con la ficha ICDD 10-495. En cantidades subordinadas se reconoce clorita (Fig. 6d). En la zona rica en talco no se identifica-

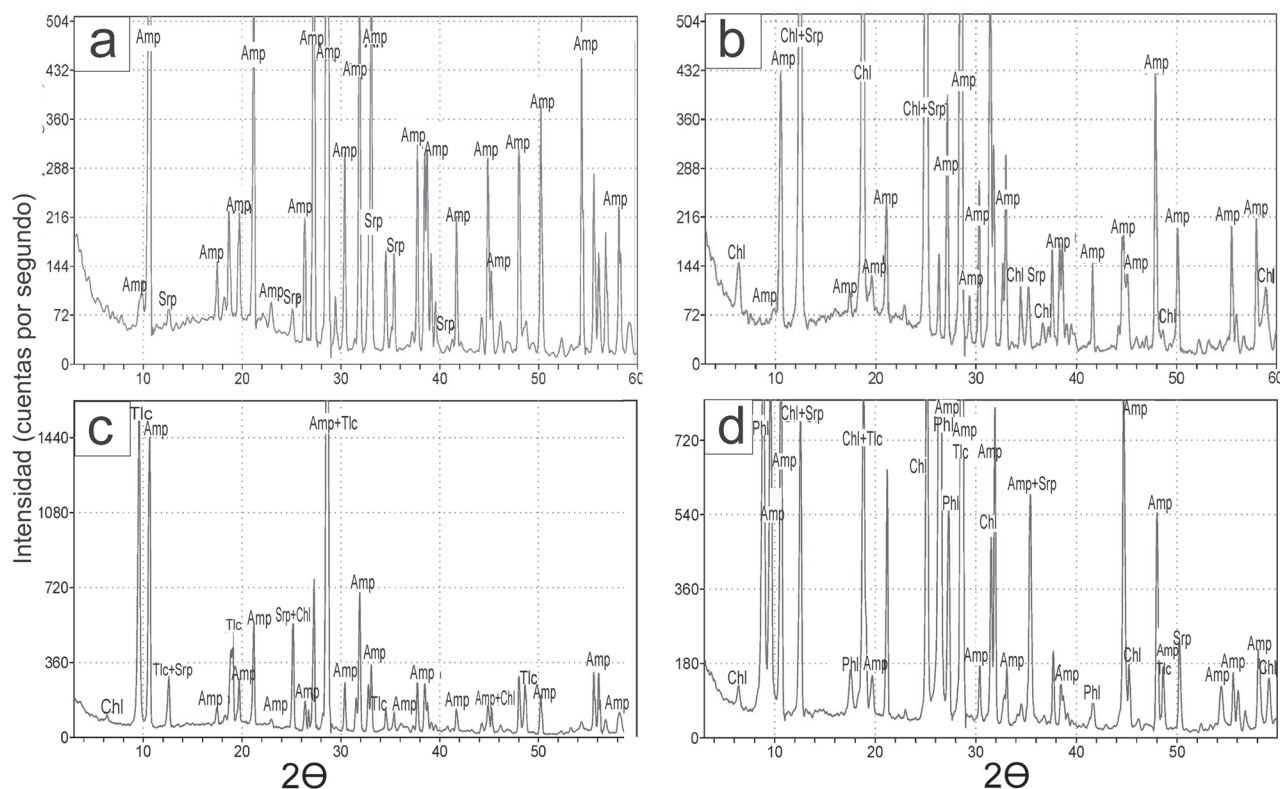
ron minerales del grupo de los anfíboles. Aunque es de hacer notar que en secciones delgadas estos minerales se reconocen claramente. No fueron determinados por DRX debido a su baja proporción en la muestra total. Se identificó talco, antigorita y clorita, comparables con las fichas previamente mencionadas.

En la zona de Doce Hermanos, se determinó talco, clorita y dolomita con sus máximas intensidades en 2,88, 2,19 y 1,78  $\text{\AA}$ , comparables con la ficha ICDD 36-426. No se reconocieron reflexiones atribuibles a minerales de la serie tremolita-actinolita.

### Análisis morfológico

En el distrito minero Salamanca, las muestras analizadas presentan en su composi-





**Figura 6:** a) Difractograma de la zona próxima a la roca de caja (mina Salamanca). b) zona alterada (mina Salamanca). c) y d) DRX de la zona rica en anfíboles y de la zona de transición de la mina Teniente Matienzo respectivamente (Srp: serpentina, Tlc: talco, Amp: anfíbol, Chl: clorita, phl: flogopita).

ción minerales del grupo de los anfíboles, sin embargo, su morfología no siempre es asbestiforme. Para realizar el análisis morfológico se comparó el largo y el radio (o espesor) de los cristales de anfíboles. En primer lugar se consideraron si son partículas fibrosas y en segundo lugar, si las fibras presentaban propiedades asbestiformes. Se analizó la morfología de los cristales diferenciando prismáticos, fragmentos de clivaje y fibras asbestiformes. De acuerdo con estándares de regulación de la *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) (1992) en lo que respecta a los asbestos, se define a una partícula mineral de asbestos a aquella que cumpla las siguientes propiedades: 1. Tener una longitud de 5  $\mu\text{m}$  o mayor y una proporción morfológica de al menos 3:1 (largo:ancho), por lo general superior a 100:1. 2. La falta de estrías longitudinales, sugiere que la partícula es un “fragmento de clivaje” (Campbell *et al.* 1979, Zoltai 1981), exentos de regulaciones sobre la base de una sentencia en 1992 de la OSHA (OSHA 1992). 3. Deben estar compuestas

por uno de los seis minerales que, según regulaciones, se encuentran dentro del grupo de los asbestos. Además la OSHA señala que: “Las fibras de asbesto se encuentran en paquetes que pueden ser fácilmente separados, muestran una estructura fina longitudinal y en los extremos presentar un haz de finas fibras”. Otra pauta a tener en cuenta, es que las fibras de asbesto son flexibles y delgadas y pueden doblarse, pero no se rompen (Zoltai 1981). En este estudio, se aplicó el término “fibra” o “fibroso” de acuerdo con las normas de regulación para asbesto de la OSHA. Con respecto a la morfología de las partículas, se consideran cuatro tipos principales de hábitos: masivo, prismático, acicular fino y asbestiforme. Desde hace más de 20 años, existen controversias entre la distinción de fragmentos de clivaje, cristales de anfíboles y fibras (Zoltai 1979). La razón subyacente es que los fragmentos de clivaje, cuando se inhalan, parecen ser menos perjudiciales que las fibras (Davis *et al.* 1991).

En Salamanca se analizó la morfología de los minerales que se encuentran en la zona rica en anfíboles y en la zona de alteración compuesta por talco y anfíboles. En el cuadro 1 se resumen los resultados obtenidos mediante el estudio morfológico por microscopía de polarización. Se analizó el largo y ancho de los cristales, su relación y promedio. En la zona de anfíboles (ZAn) los cristales presentan morfologías en general prismáticas a tabulares, y en algunos casos equidimensionales. La relación largo/ancho, supera levemente el valor teórico para la definición de fibra propuesto la OSHA. Los cristales se observan fracturados a lo largo de los planos de clivaje, sin hábito asbestiforme. El tamaño es variable pero en promedio presentan un largo de 1800  $\mu\text{m}$  y un ancho de 293  $\mu\text{m}$  por lo que la relación largo/ancho supera levemente el valor de 6. Algunos alcanzan grandes dimensiones. Si bien en esta zona los anfíboles son muy abundantes, no presentan morfologías asbestiformes. En la zona más alterada, los anfíboles,

conjuntamente con el talco, son más pequeños y su hábito, en general, es fibroso y acicular. En promedio el largo es de 272  $\mu\text{m}$  y el ancho de 21  $\mu\text{m}$ , con una relación superior a 12, alcanzando en algunos casos valores superiores a 60. Las fibras son extremadamente finas, elongadas y de características asbestiformes.

Las morfologías observadas en las muestras de la mina Doce Hermanos son, en general, prismáticas, con una relación promedio largo/ancho de 8. No se distinguieron hábitos fibrosos asbestiformes (Cuadro 2).

En cuanto a los anfíboles de la mina Teniente Matienzo, se analizó la morfología de pocas muestras. Se observó una gran heterogeneidad en el tamaño de los cristales, destacándose largos que superan los 1000  $\mu\text{m}$  y otros que no sobrepasan los 20  $\mu\text{m}$ , traducido en un alto valor de desvío standard. En el Cuadro 3 se muestra el análisis de algunos cristales y se destaca que existen formas fibrosas delgadas de características asbestiformes y otras prismáticas. La relación largo/ancho en promedio es superior a 9.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se estudiaron los minerales potencialmente asbestiformes de los yacimientos de talco del distrito minero Salamanca, provincia de Mendoza, poniendo especial énfasis en los del grupo de los anfíboles.

En diversos trabajos se menciona la presencia de tremolita-actinolita en los materiales extraídos en las minas Salamanca, Doce Hermanos y Teniente Matienzo, como mineral accesorio, pero no se hace mención del potencial problema ambiental que se habría generado durante la explotación minera.

Durante décadas el talco extraído de Salamanca y Doce Hermanos fue procesado en plantas de tratamiento sin un debido control ambiental. Teniendo en cuenta los sucesivos tratamientos que sufren estos minerales durante el transporte, trituración, molienda, ciclonado, calcinación, etc., la consecuente fragmentación, la generación de abundante polvo en las dis-

**CUADRO 1:** Análisis morfológico y de tamaño de anfíboles de la mina Salamanca

Mina	Zona	Largo ( $\mu\text{m}$ )	Ancho ( $\mu\text{m}$ )	Relación (L/A)	Morfología
SALAMANCA	Anfíboles	1600	360	4,4	Prismático
		3000	440	6,8	Prismático
		1700	180	9,4	Prismático
		1000	300	3,3	Prismático
		900	240	3,75	Prismático
		1350	210	6,4	Prismático
	Promedio	1592	288	5,7	
	Desvío estándar	759	98	2,3	
	Anfíboles	2400	400	6	Prismático
		2800	500	5,6	Prismático
		1300	200	6,5	Prismático
		2200	200	22	Prismático
		2400	300	11	Prismático
		800	100	8	Prismático
	Promedio	1983	283	9,85	
	Desvío estándar	765	147	6,3	
	Zona Talco	220	20	11	Fibroso
		320	10	32	Fibroso
		600	40	15	Fibroso
		290	10	29	Fibroso
		100	10	10	Fibroso
		150	10	15	Fibroso
	Promedio	280	17	19	
	Desvío estándar	177	12	9	
	Zona Talco	350	60	5,8	Prismático
		170	10	17	Fibroso
		160	5	32	Fibroso
		250	20	12,5	Fibroso
		320	5	64	Fibroso-Acicular
		200	2	40	Fibroso-Acicular
	Promedio	242	17	28,5	
	Desvío estándar	79	22	20,4	
	Zona Talco	300	20	15	Prismático
		550	40	13,7	Prismático
		1600	50	32	Fibroso
		250	40	6,25	Prismático
		450	10	22,5	Fibroso
		200	5	40	Fibroso-Acicular
	Promedio	558	27	22	
	Desvío estándar	527	18	12	
	Zona Talco	220	20	11	Fibroso
		300	20	15	Fibroso
		240	40	6	Prismático
		300	40	7,5	Prismático
		320	20	16	Fibroso
		400	40	10	Fibroso
	Promedio	297	30	11,6	
	Desvío estándar	64	11	4	

tintas etapas, sumado a su alta volatilidad a medida que el tamaño disminuye debido a su bajo peso específico, se incorpora fácilmente al material particulado que constituye la atmósfera y podrían generar riesgos para la salud humana.

Para calificar a los minerales asbestiformes desde el punto de vista de su potencial peligrosidad, es fundamental determinar

sus características morfológicas y enmarcar los resultados en las normas vigentes.

Aún existen controversias acerca de la importancia de la morfología debido, entre otras razones, a que los hábitos asbestiformes generarían una mayor peligrosidad para la salud que las formas no asbestiformes (Davis *et al.* 1991).

Los anfíboles del distrito minero Sala-

**CUADRO 2:** Análisis morfológico y de tamaño de anfíboles en la zona de acopio de la mina Doce Hermanos.

Mina	Zonas	Largo (μm)	Ancho (μm)	Relación (L/A)	Morfología
Doce Hermanos	Acopio	150	20	7,5	Fibroso
		200	40	5	Prismático
		810	100	8,1	Prismático
		240	60	4	Prismático
		700	120	5,8	Prismático
		120	10	18	Prismático
	Promedio	370	58	8	
	Desvío estándar	303	44	5	

**CUADRO 3:** Análisis morfológico y de tamaño en la zona de anfíboles de la mina Teniente Matienzo.

Mina	Zonas	Largo (μm)	Ancho (μm)	Relación (L/A)	Morfología
Teniente Matienzo	Anfíboles	960	120	8	Prismático
		400	50	8	Fibroso
		1940	100	19,4	Prismático
		1100	200	5,5	Prismático
		700	40	17,5	Fibroso
		1200	100	12	Prismático
	Promedio	1050	102	12	
	Desvío estándar	523	57	6	

manca, en general, no presentan carácter asbestiforme. Si bien la relación largo/ancho, en general es mayor a 3, no poseen las otras propiedades de morfologías asbestiformes, como es la flexibilidad y delgadez de las fibras.

Se diferenciaron los cristales en prismáticos, fragmentos de clivaje y fibras asbestiformes.

En los sectores más ricos en anfíboles, los cristales presentan morfologías prismáticas a tabulares, equidimensionales y están ausentes las asbestiformes. La relación largo/ancho, supera levemente el valor teórico propuesto por la OSHA. En cambio, en la zona más alterada, rica en talco y objeto principal del laboreo minero, los anfíboles son más pequeños y su hábito, en general, es fibroso, masivo, acicular y asbestiforme. En la mina Doce Hermanos se analizaron los anfíboles contenidos en las menas de talco. Las morfologías observadas son prismáticas y no se determinaron hábitos fibrosos asbestiformes. En Teniente Matienzo se determinaron formas fibrosas delgadas de características asbestiformes y otras prismáticas. Si bien las morfologías estudiadas no presentan en general, carácter asbestiforme, Davis *et al.* (1991) demostraron que los diferentes hábitos de tremolita (asbesti-

forme y no-asbestiforme fibrosa) producen carcinogénesis, con distinto grado de agresividad. A su vez, Oyarzun *et al.* (2009), consideran que los relaves mineros con actinolita, donde estas partículas son consideradas como potencialmente dañinas, son peligrosos para la salud humana (en el rango respirable). Sin embargo, si el mismo material se analizara en su forma no triturada ni meteorizada, sería calificado como no-asbestiforme, como ocurriría con los materiales de los yacimientos del distrito minero Salamanca a la luz del conocimiento actual.

Sin embargo algunas muestras de talco contienen anfíboles asbestiformes. Este material fue movilizado hacia las plantas de procesamiento y tratado para su purificación con minerales potencialmente cancerígenos, y los productos que lo utilizaron se contaminaron. Un ejemplo muy comentado en el año 2000, fue la menación de que el talco utilizado como carga en crayones de la marca más vendida a nivel mundial, contenía anfíboles asbestiformes (Beard *et al.* 2001).

## CONCLUSIONES

Las menas y gangas de las tres minas del distrito minero Salamanca, presentan en

su composición diferentes tipos, morfologías y proporciones de anfíboles.

En la mina Salamanca los anfíboles desarrollan grandes cristales tabulares, sin morfología asbestiforme. En el contacto con el complejo ultrabásico, los anfíboles contenidos en el talco se presentan como una masa afieltrada de fibras de morfología acicular, asbestiforme y de tamaño pequeño. Por DRX se determinó su presencia en muestras monominerales y asociados con clorita y serpentina en la zona esteatizada. En la mina Doce Hermanos, se observaron anfíboles de hábito tabular.

Los anfíboles en la mina Teniente Matienzo se presentan en cercanías del cuerpo esteatizado, tanto con morfologías tabulares como fibrosas y de tamaño variable. Están asociados con clorita y talco. La mina Salamanca es la que presenta mayor cantidad de anfíboles en los perfiles analizados. En Teniente Matienzo se observó que en el sector cercano a la zona esteatizada el porcentaje de anfíboles es mayor al 80 %. En Doce Hermanos la composición modal de los anfíboles no supera el 15 %.

Del análisis morfológico se concluye que en la zona de anfíboles de la mina Salamanca, los cristales presentan morfología en general prismática a tabular y en algunos casos equidimensional. Sin embargo en la zona más alterada, alejada del cuerpo objeto del laboreo minero, los anfíboles son más pequeños y su hábito en general es fibroso, asbestiforme y acicular. En Teniente Matienzo existen formas fibrosas delgadas de características asbestiformes y otras prismáticas. En Doce Hermanos no se reconocen, en general, morfologías fibrosas ni asbestiformes.

Considerando la peligrosidad que representan estos minerales para la salud humana se recomienda realizar estudios ambientales a fin de evaluar la presencia de estos minerales en el área circundante a las minas y a las plantas de tratamiento, especialmente su distribución, dispersión y tamaño de las partículas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad



Nacional del Sur, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y al CONICET por el apoyo brindado.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ATSDR (Agency for toxic substances and disease control) 2001. Toxicological profile for asbestos. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, GA, 327 p., Atlanta.
- Beard, M.E., Crankshaw, O.S., Ennis, J.T. y Moore, C.E. 2001. Analysis of crayons for asbestos and other fibrous materials, and recommendations for improved analytical definitions (informal report). Research Triangle Institute, Center for Environmental Measurements and Quality Assurance, Earth and Mineral Sciences Department, Research Triangle Park, Appendices A-H, 23 p., North Carolina.
- Bjerg, E.A. 1984. Identificación de las fases monoclinica y hexagonal de la pirrotina de mina Salamanca. Su posible uso como geotermómetro. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 269-274, Bariloche.
- Bjerg, E.A., Gregori, D.A., Losada Calderón, A. y Labudía, C.H. 1990. Las metamorfitas del faldeo oriental de la Cuchilla de Guarguaraz, Cordillera Frontal, provincia de Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 45: 234-245.
- Bjerg, E.A., Villar, L.M. y Donnari, E.I. 1999. Distrito cuprífero Salamanca, Complejos Novillo Muerto y Los Gateados, Mendoza. En Zappettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales (SEGEMAR) 35, 167-172, Buenos Aires.
- Caminos, R., Cordani, U.J. y Linares, E. 1979. Geocronología y geología de las rocas metamórficas y eruptivas de la Precordillera y Cordillera Frontal de Mendoza. 2° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 43-61, Arica.
- Campbell, W.J., Steel, E.B., Virta, R.L. y Eisner, M.H. 1979. Relationship of mineral habit to size characteristics for tremolite cleavage fragment and fibers. U.S. Bureau of mines report of investigation N 8367, 18 p.
- Davis, J.M.G., Addison, J., McIntosh, C., Miller, B.G. y Niven, K. 1991. Variations in the carcinogenicity of tremolite dust samples of differing morphology. En Landrigan, P.J. y Kazemi, H. (ed.) Third wave of asbestos disease: exposure to asbestos in place-public health control. Annals of the New York Academy of Sciences 643: 473-490.
- Deer, W.A., Howie, R.A. y Zussman, J. 1997. Double-chain silicates. Rock Forming Minerals, Longman 764 p., London.
- González Díaz, E.F. 1957. Estructuras del basamento y del neopaleozoico en los contrafuertes norentales del Cordón del Portillo, Provincia de Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 12: 98-133.
- Gregori, D.A., Ruviños, M.A. y Bjerg, E.A. 1997. Las metamorfitas del basamento de la Cordillera Frontal, entre el Río de Las Tunas y el Arroyo Barraquero, Provincia de Mendoza. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 1295-1299, Antofagasta.
- Groeber, P. 1939. El Eógeno de Neuquén, el piso de Navidad chileno, la formación Río Grande y sus relaciones. Anales del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Geología 11: 85-90.
- Groeber, P. 1951. La alta cordillera entre las latitudes 34° y 29°30'. Instituto Investigaciones de las Ciencias Naturales. Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Revista (Ciencias Geológicas) 1(5): 1-352.
- ICDD (International Centre for Diffraction Data) 1993. Mineral powder diffraction file. Databook, Park Lane. Swarthmore, 2389 p., Pennsylvania.
- López, V.L., Gregori, D.A. y Migueles, N.A. 2001. Stratigraphy and structure of the Guarguaraz Complex, Frontal Cordillera, Argentina. Geological Society of America Annual Meeting Abstracts: A-383, Boston.
- Maiza, P.J., Bjerg, E.A. y Gregori, D.A. 1982. Mineralogía y quimismo en la zona de alteración en un perfil de mina Salamanca, Departamento de Tupungato, provincia de Mendoza, Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 1: 665-674, Buenos Aires.
- OSHA 1992. Occupational exposure to asbestos, tremolite, anthophyllite and actinolite. U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration. Federal Register. 57: 24310-24331.
- Oyarzun, R., Lillo, J., Oyarzun, J., Maturana, H., Canut, C. y Andreani, S. 2009. Restrictive definition of asbestos and the assessment of potential health hazards: insights from Northern Chile. International Geology Review: 1-9.
- Polanski, J. 1958. El bloque Variscico de la Cordillera Frontal. Revista de la Asociación Geológica Argentina 12: 165-196.
- Ross, M. 1981. The geological occurrences and health hazards of amphibole and serpentine asbestos. En Ribbe, P.H. (ed.) Amphiboles and Other Hydrous Pyriboles - Mineralogy. Mineralogical Society of America 9A: 279-320.
- Ross, M., Nolan, R.R., Langer, A.M. y Cooper, W.C. 1993. Health effects of mineral dusts other than asbestos. En Guthrie, G.D. y Mossman, B.T. (ed.) Health Effects of Mineral Dusts. Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America 28: 361-407.
- Skinner, H.C.W., Ross M. y Frondel, C. 1988. Asbestos and other fibrous materials. Oxford University Press, 22 p., Oxford.
- Stappenbeck, R. 1917. Geología de la falda oriental de la Cordillera del Plata (Prov. de Mendoza). Minería Agricultura Sección Geología. Anales 10: 1-49, Buenos Aires.
- van Oss, C.J., Naim, J.O., Costanzo, R.M., Giese, R.E., Wu, W. Jr. y Sorling, A.E. 1999. Impact of different asbestos species and other mineral particles on pulmonary pathogenesis. Clays and Clay Minerals 47: 697-707.
- Veblen, D.R. y Wilie A.G. 1993. Mineralogy of amphiboles and 1:1 layer silicates. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 28: 61-138.
- Villar, M.L. 1969. El Complejo ultrabásico de Novillo Muerto, Cordillera Frontal, provincia de Mendoza, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 24: 230-238.
- Villar, M.L. 1975. Las fajas y otras manifestaciones ultrabásicas de la República Argentina y su significado metalogénico. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 3: 135-156, Buenos Aires.
- Zoltai, T. 1979. Asbestiform and acicular mineral fragments. Annals of the New York Academic of Science 330: 621-643.
- Zoltai, T. 1981. Amphibole asbestos mineralogy. En Veblen, D.R. (ed.) Amphiboles and Other Hydrous Pyriboles. Mineralogical Society of America 9A: 237-278.

Recibido: 26 de diciembre, 2012

Aceptado: 23 de mayo, 2013